

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ  
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
NICOLE MIGLIORINI MAGAGNIN

### CIRCUITOS ELETRÔNICA BÁSICA – M3

Relatório apresentado como requisito parcial  
para a obtenção da M3 da disciplina de  
Eletrônica básica do curso de Engenharia de  
Computação pela Universidade do Vale do  
Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí  
2021

## **1. OBJETIVO**

Este relatório tem como objetivo demonstrar as implementações, cálculos e simulações de circuitos da terceira média da matéria de Eletrônica Básica. As simulações são realizadas no software *Multisim* e comparadas com os valores calculados por meio do conteúdo da disciplina.

## **2. INTRODUÇÃO**

Conforme descrito durante a segunda etapa da disciplina de Eletrônica Básica, transistores são dispositivos semicondutores, feitos com silício ou germânio e usados para amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos. Eles são um bloco fundamental na construção de circuitos eletrônicos, como chips de computadores e smartphones.

Uma vez que esses dispositivos se comportam como chave, é necessária apenas uma análise DC de seu comportamento, porém quando é necessário seu uso para a implementação de um amplificador de sinais, torna-se necessária a sua interpretação de maneira AC. Para a análise AC é desconsiderada a influência dos capacitores de acoplamento e de passagem, transformando-os em curto-circuito, diferente da análise AC onde eles se tornam parte de um circuito aberto.

### 3. EXERCÍCIOS E RESULTADOS

- Monte no simulador o amplificador BC.
- Adicione um gerador de funções na entrada do amplificador.
- Configure para um sinal senoidal de 1 kHz, com amplitude de 5mV pico.
- Coloque uma ponteira do scope em vi e a outra em vo. Vc deve observar na saída um sinal senoidal de mesma frequência da entrada, amplificado pelo ganho de tensão.
- Obtenha o ganho de tensão das formas de onda.
- Compare o resultado da simulação com o calculado

#### 3.1 - EXERCÍCIOS

Considere o circuito apresentado. Determine a polarização DC e a análise AC.

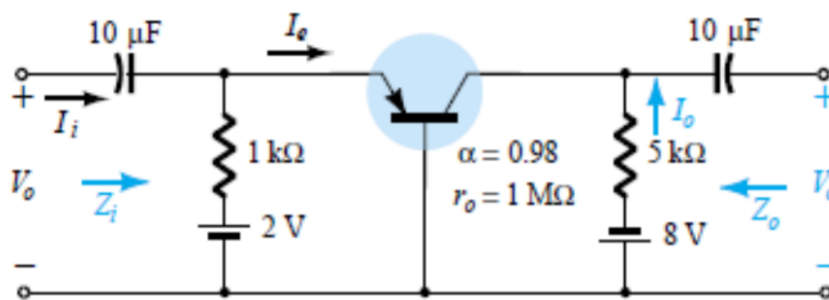


Figura 1 - Circuito proposto

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,98}{1-0,98} = 49$$

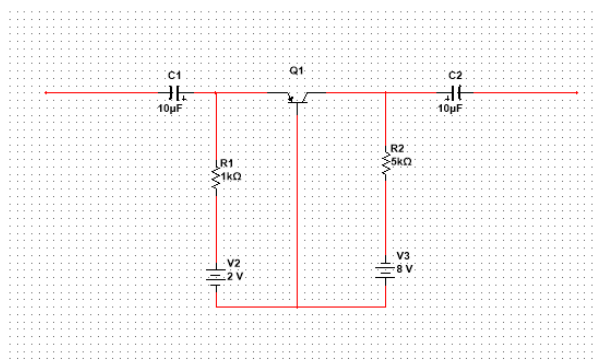


Figura 2 - Simulação inicial

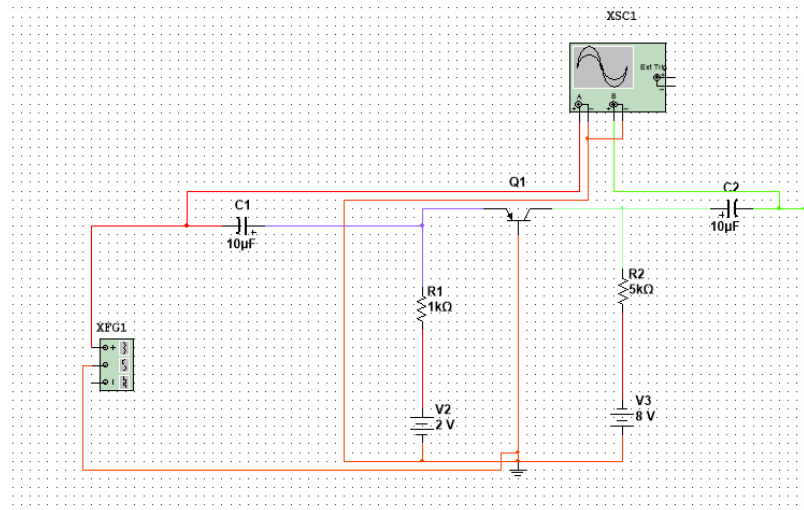


Figura 3 - Circuito simulado conforme as especificações

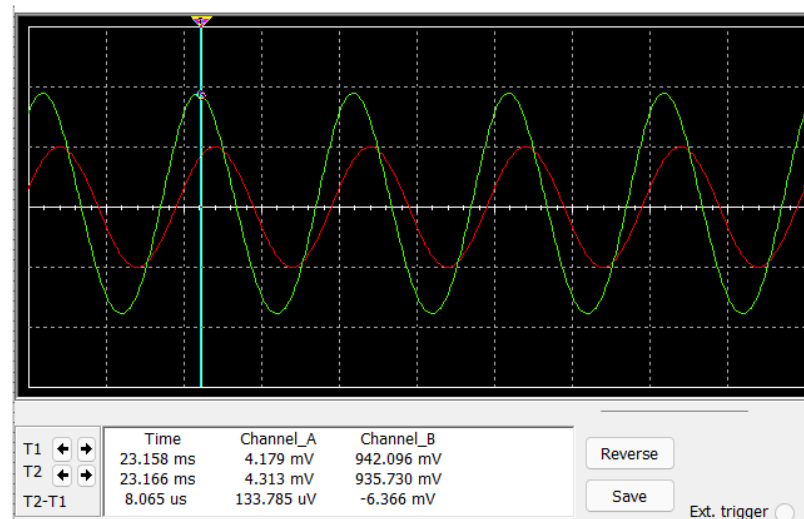


Figura 4 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{942,096mV}{4,179mV} = 225 V$$

Uma vez que o transistor em questão opera como um transistor PNP, Positivo-Negativo-Positivo, ele funciona como um amplificador de sinal de tensão, algo que é possível de se observar no ganho de tensão do circuito.

## ANÁLISE DC

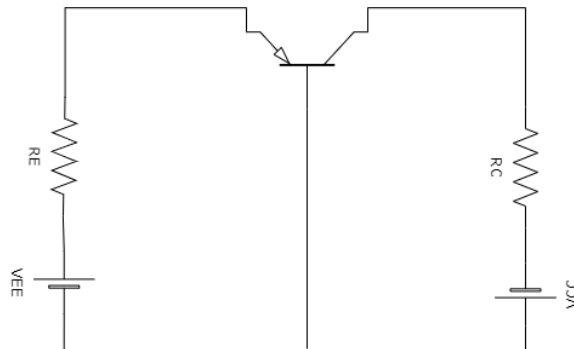


Figura 5 - Análise DC

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2 - 0,7}{1k} = 1,3mA$$

$$I_C = \alpha * I_E = 0,98 * 1,3mA = 1,274mA$$

$$V_B = 0V$$

$$V_E = 0,7V$$

$$V_C = -V_{CC} + I_C * R_C = -8 + 1,274 * 4 = -2,9$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = 20\Omega$$

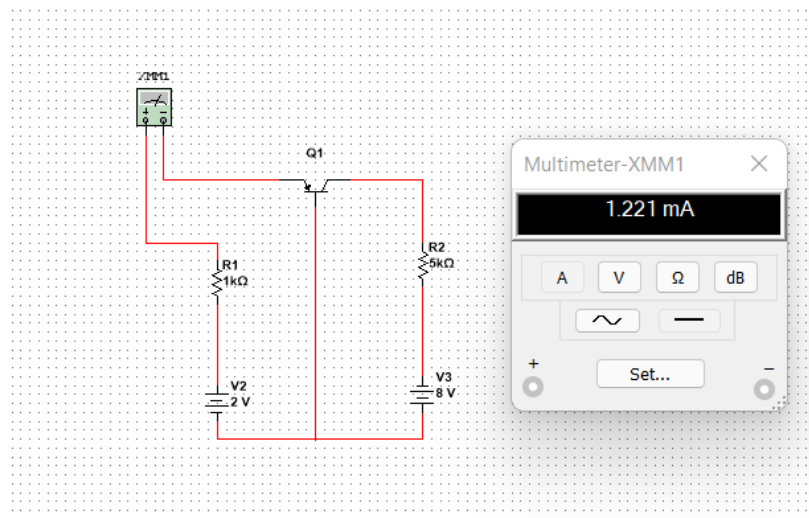


Figura 6 - Simulação DC com mensuração de  $I_E$

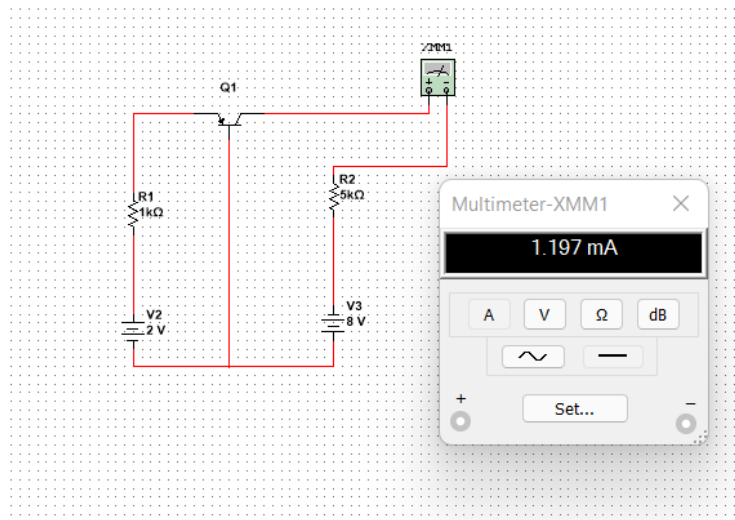


Figura 7 - Simulação DC com mensuração de IC

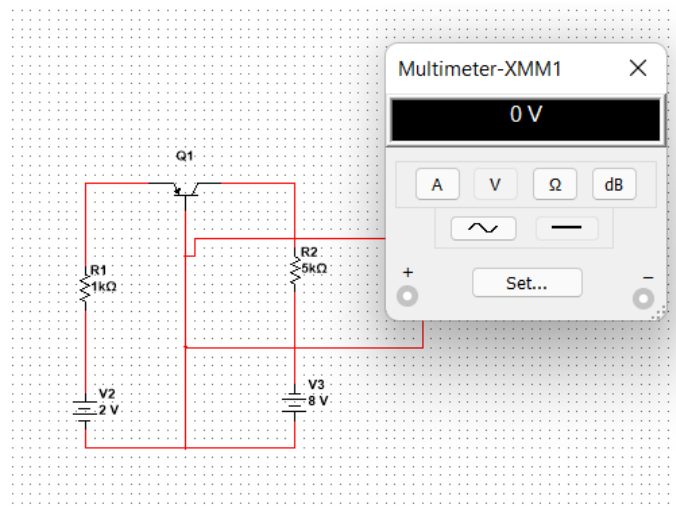


Figura 8 - Simulação DC com mensuração de VB

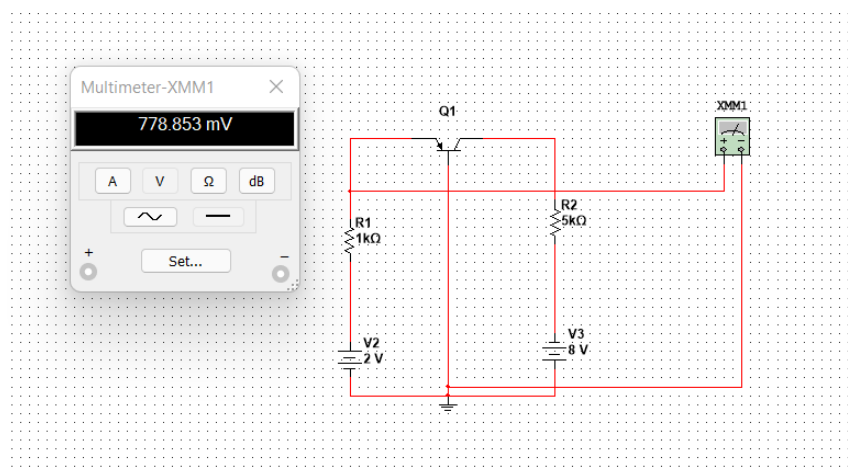


Figura 9 - Simulação DC com mensuração de VE

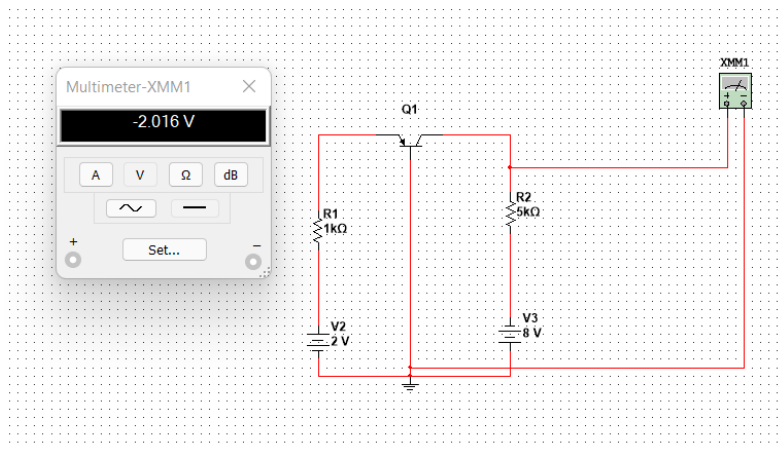


Figura 10 - Simulação DC com mensuração de VC

## TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
IE	1,3 mA	1,221 mA
IC	1,274 mA	1,197 mA
VB	0 V	0 V
VE	0,7 V	0,77 V
VC	-2,9 V	-2,016 V

## ANÁLISE AC

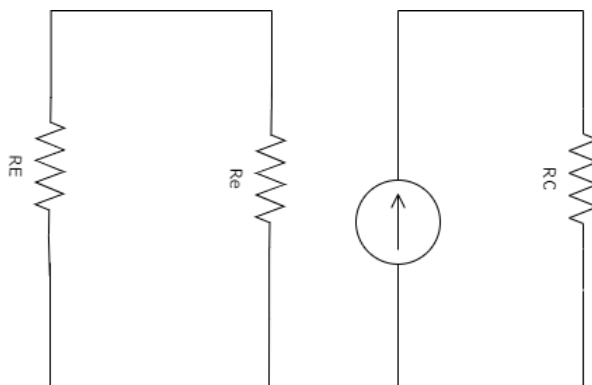


Figura 11 - Análise AC

$$Z_i = R_E // r_e = 1k // 20 = 19,6 \Omega$$

$$Z_o = R_C = 5k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R_C}{r_e} = 250$$



$$I1 = \alpha * IE = 1,3 * 0,98 = 1,274 A$$

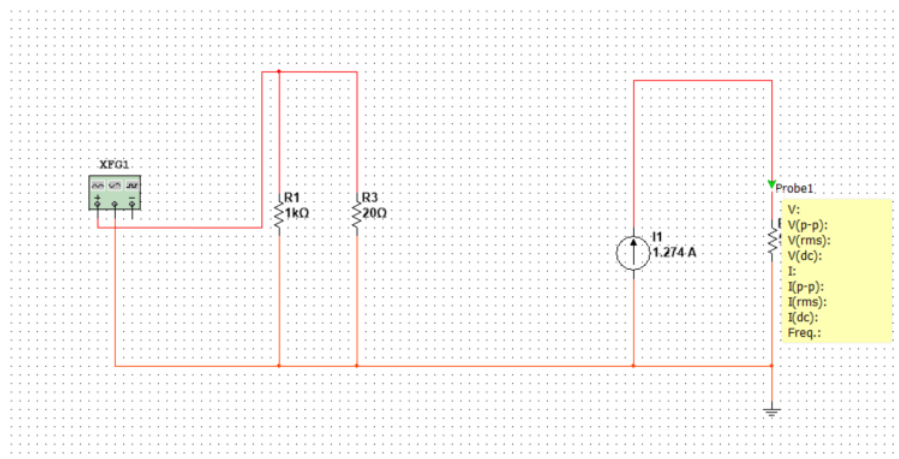


Figura 12 - Circuito AC

Para obtenção dos valores de impedância de entrada e saída, foi adicionada uma ponta de prova em cada um dos pontos e adicionada a expressão que divide a tensão da ponta de prova naquele ponto, pela corrente no mesmo ponto a ferramenta do Multisim AC Single Analysis, sendo assim foi possível a visualização de valores semelhantes aos calculados (figuras 13 e 14).

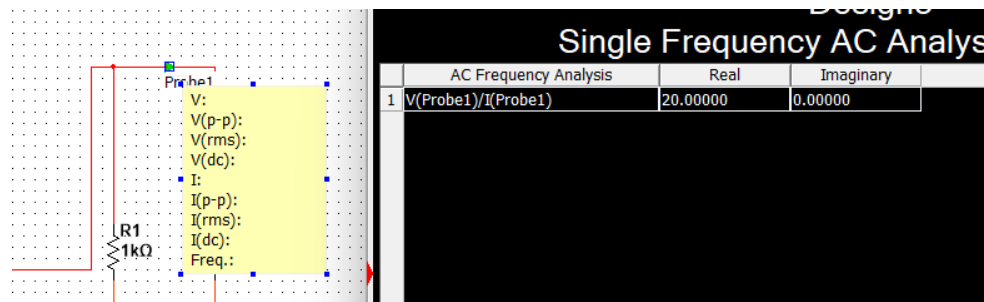


Figura 13 - Impedância Zi

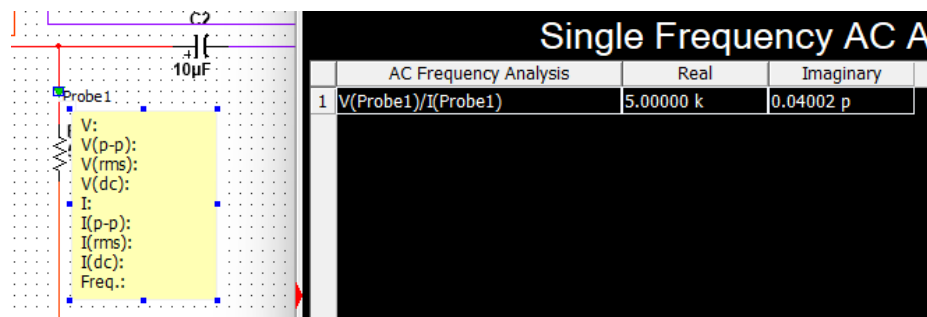


Figura 14 - Impedância Zo

Componente	Cálculo	Simulação
------------	---------	-----------

$Z_i$	$19,6 \, \Omega$	$20 \, \Omega$
$Z_o$	$5k\Omega$	$5k\Omega$
$A_v$	250	225

### 3.1-2 - POLARIZAÇÃO FIXA

Determine:

- $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$ ,  $V_{CE}$
- $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_v$

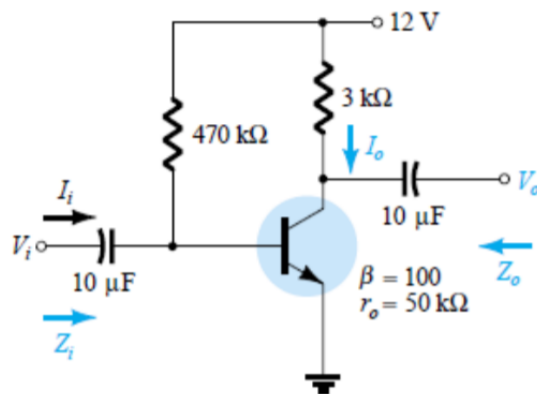


Figura 15 - Circuito proposto

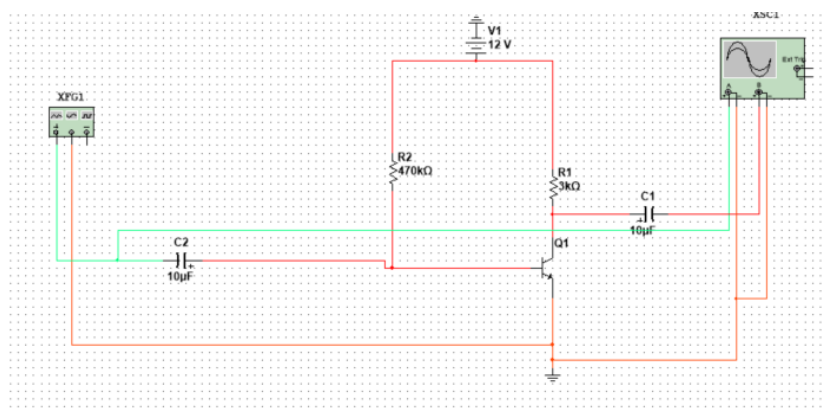


Figura 16 - Circuito simulado

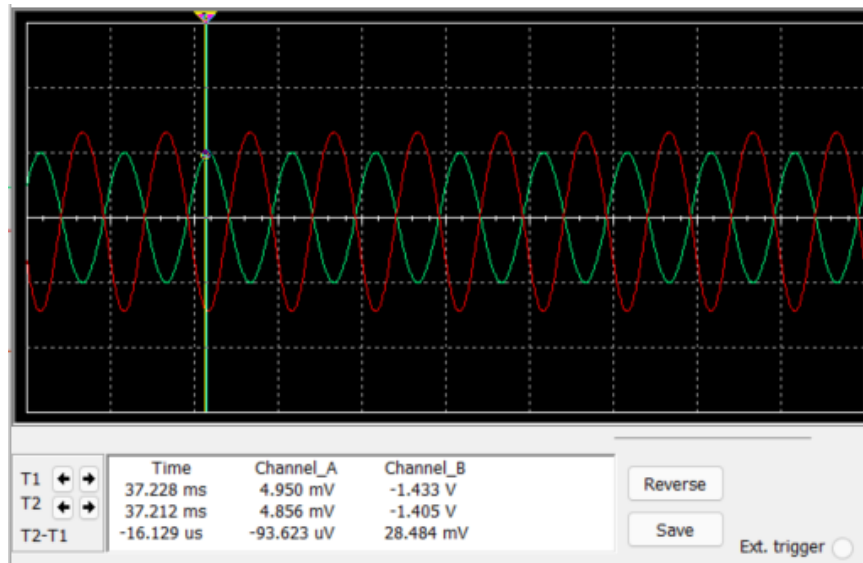


Figura 17 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{-1,433}{4,950mV} = -289$$

Para a visualização no osciloscópio de valores de ganho de tensão ao nível do resultado obtido, foram necessárias escalas diferentes para cada um dos canais, tendo  $V_i$  uma escala de visualização muito menor.

## ANÁLISE DC

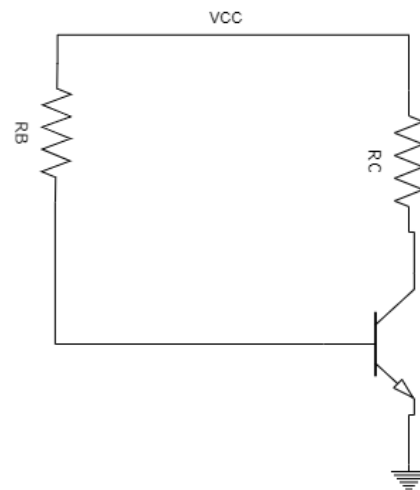


Figura 18 - Análise DC

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b} = \frac{12 - 0,7}{470k} = 24,04 \mu A$$

$$I_C = 100 * 24,04 \mu A = 2,4mA$$

$$I_E = (100 + 1) * 24,04 \mu A = 2,43mA$$

$$V_B = V_{CC} - I_B * R_B = 12 - 24,04 \mu A * 470k = 0,7012$$

$$V_{CE} = V_C = V_{cc} - I_C * R_C = 12 - 2,4mA * 3k = 4,8V$$

$$I_{csat} = \frac{V_{cc}}{R_c} = \frac{12}{3000} = 4mA$$

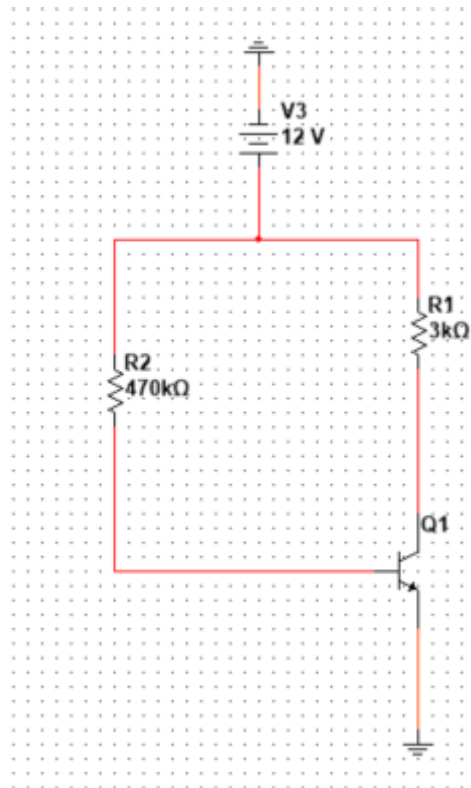


Figura 19 - Circuito simulado

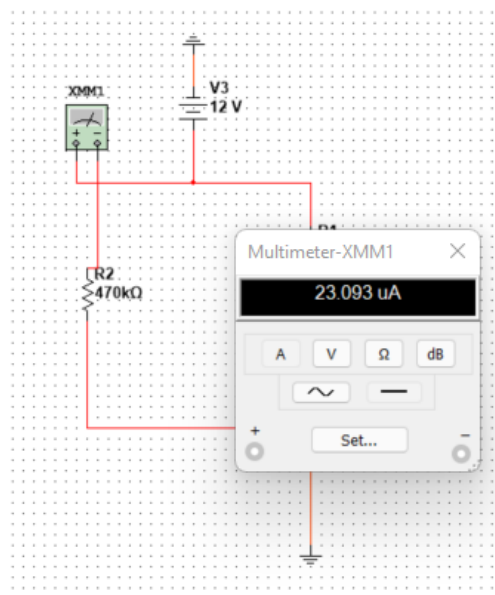


Figura 20 - Mensuração de IB

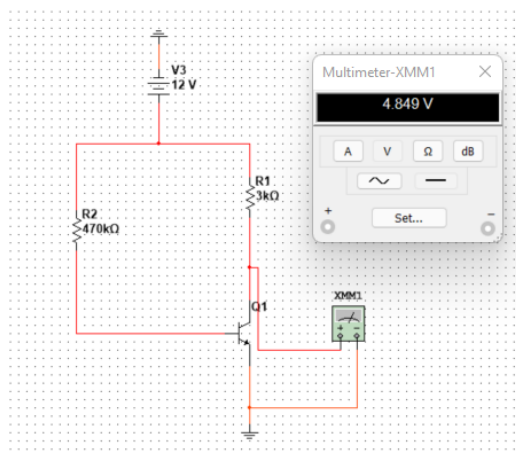


Figura 21 - Mensuração de VCE

## TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
IB	24,04 $\mu$ A	23,093 $\mu$ A
IC	2,4 mA	2,384 mA
IE	2,43 mA	2,408 mA
VB	0,7 V	0,667 V
VC	4,8 V	4,849 V
VCE	4,8 V	4,849 V

## ANÁLISE AC

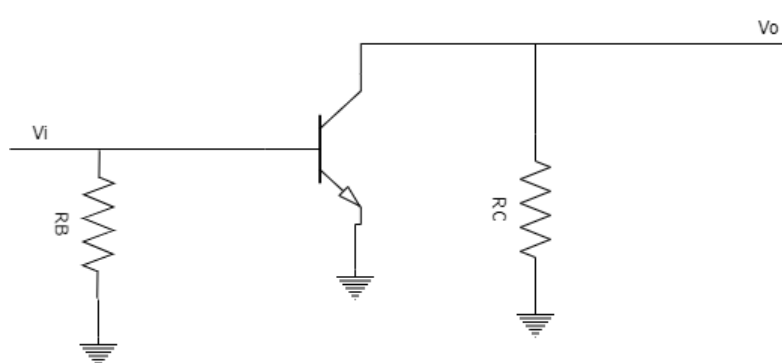


Figura 21 - Análise AC

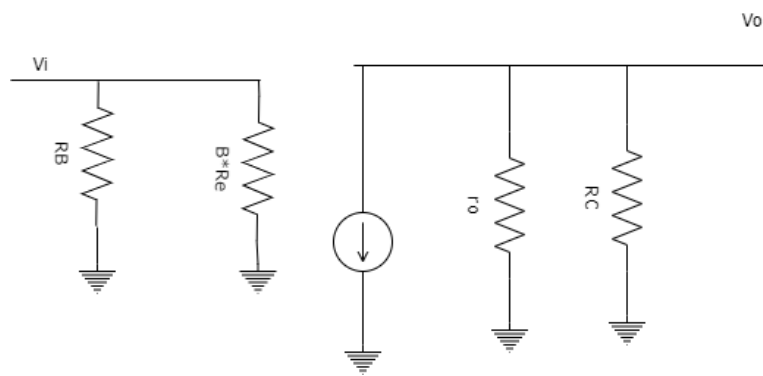


Figura 22 - Análise AC

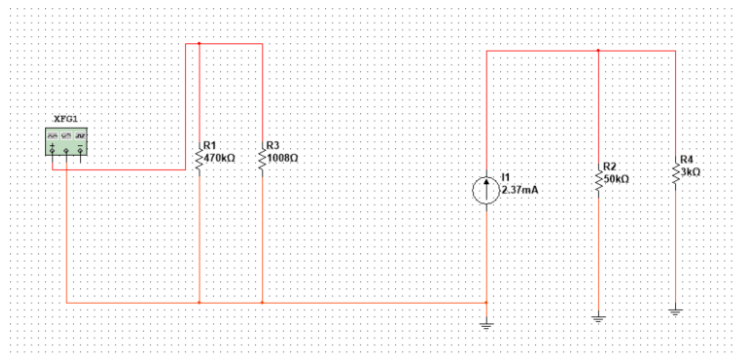


Figura 23 - Simulação AC

$$\begin{aligned}
 R_e &= \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{2,4mA} = 10,083 \\
 Z_i &= R_B // \beta * r_e = 47000k // 100 * 10,083 = 1.006,14\Omega \\
 Z_0 &= R_C // r_o = 50k // 3k = 2.830\Omega \\
 A_v &= \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_c}{r_e} = \frac{-3000}{10,83} = -277 \\
 I_1 &= \alpha * I_E = 2,4mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 2,37mA
 \end{aligned}$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	1.006,14Ω	1.080Ω
Z0	2830Ω	1278Ω
Av	- 277	-289

## 3.2 - ANÁLISE AC - EMISSOR COMUM

### 3.2-1 - DIVISOR DE TENSÃO

Determine:

- IC, IE, VB, VE, VC, VCE
- Zi, Zo, AV

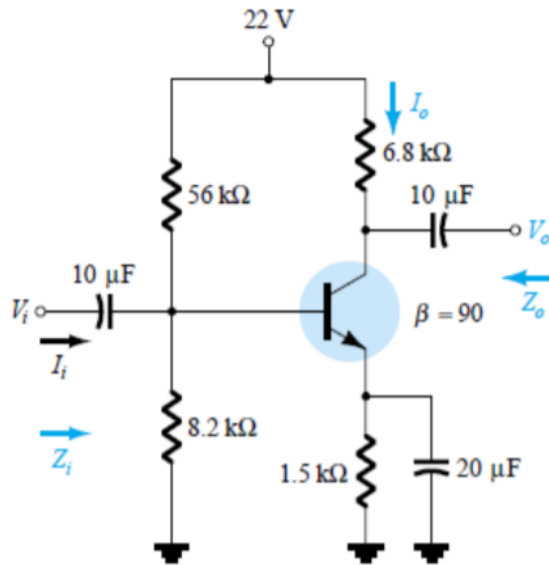


Figura 24 - Circuito proposto

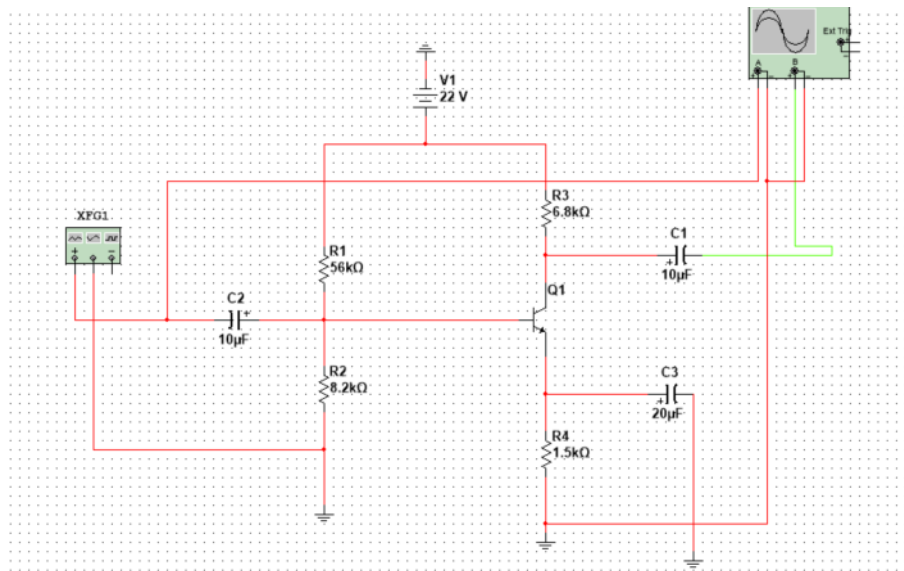


Figura 25 - Simulação

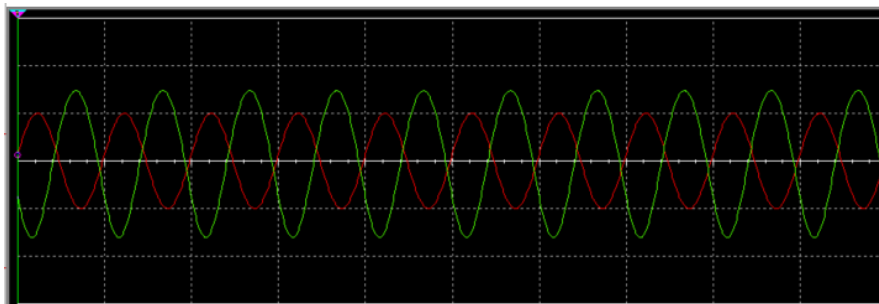


Figura 26 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1,470 \text{ V}}{-4,491 \text{ mV}} = -327,32$$

O circuito divisor de tensão possui como característica a obtenção de tensões menores do que as geradas pelo gerador de tensão, desta forma, no circuito com um transistor TBJ ele possui dois resistores ligados em paralelo, os quais devem ser calculados utilizando o teorema de Thévenin.

## ANÁLISE DC

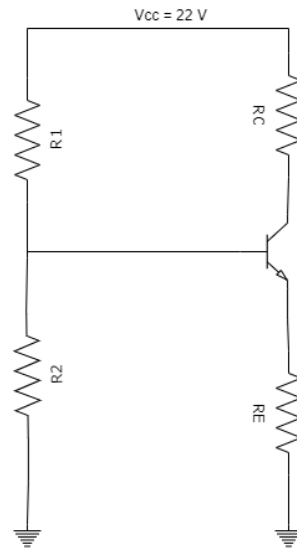


Figura 27 - Análise DC

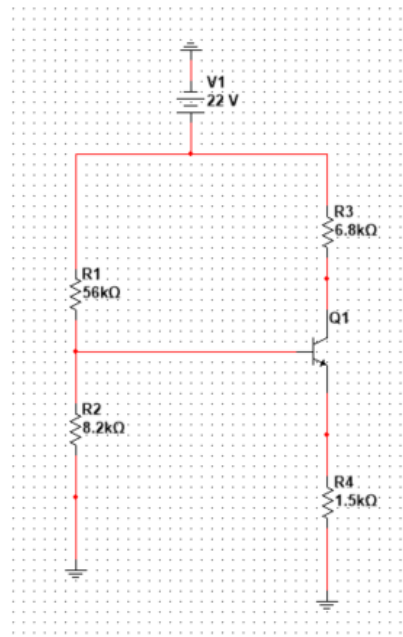


Figura 28 - Simulação DC

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{8,2k * 22}{8,2k + 56k} = 2,81 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2,81 - 0,7 = 2,11 V$$



$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2,11}{1,5k} = 1,41 \text{ mA}$$

$$I_C = I_E = 1,41 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C * R_C = 22 - 1,41 \text{ mA} * 6,8k = 12,41 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_E) = 22 - 1,41 \text{ mA} * (6,8k + 1,5k) = 10,3 \text{ V}$$

### TABELA COMPARATIVA

Componente	Cálculo	Simulação
VB	2,81 V	2,71 V
VE	2,11 V	1,93 V
IC	1,41 mA	1,27 mA
IE	1,41 mA	1,27 mA
VC	12,41 V	13,53 V
VCE	10,3 V	11,42 V

### ANÁLISE AC

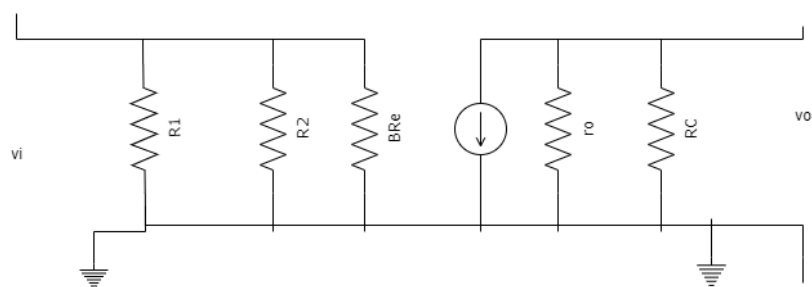


Figura 29 - Análise DC

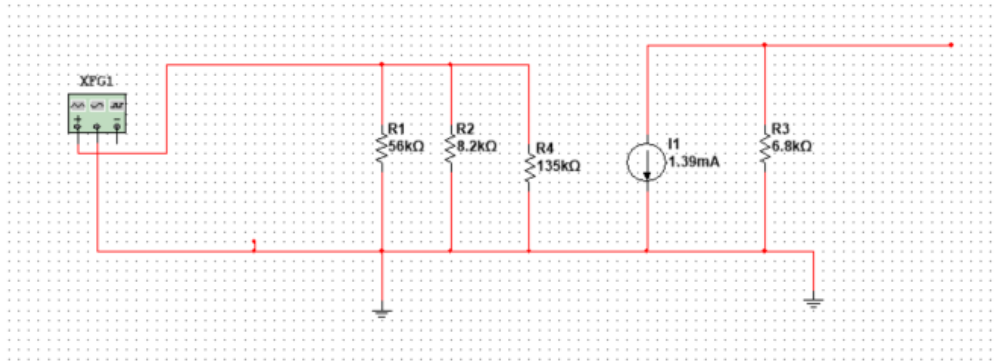


Figura 30 - Simulação análise DC

$$\begin{aligned}\beta_{re} &> 10 * R_2 \\ 90 * 1,5k &> 10 * 8,2k \\ 135k &> 82k \\ V_B &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} = \frac{8,2k * 22}{56k + 8,2k} = 2,81 V \\ V_E &= V_B - V_{BE} = 2,81 V - 0,7 V = 2,11 V \\ R_{th} &= R_1 // R_2 = 56k // 8,2k = 7,15k\Omega \\ Z_i &= R_{th} * \beta_{re} = 7,15k // 135k = 6,79k\Omega \\ Z_o &= R_C = 6,8k\Omega \\ A_v &= \frac{-RC}{r_e} = - \frac{6,8k}{18,44} = - 368,76\end{aligned}$$

$$I_1 = \alpha * I_E = I_1 = 1,41mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 1,39 mA$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	6,79kΩ	6,79kΩ
Z0	6,8kΩ	6,8kΩ
Av	- 277	-289

### 3.2-2 - POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Considere sem o capacitor CE Determine:

- IB, IC, IE, VB, VE, VC, VCE
- Zi, Zo, AV

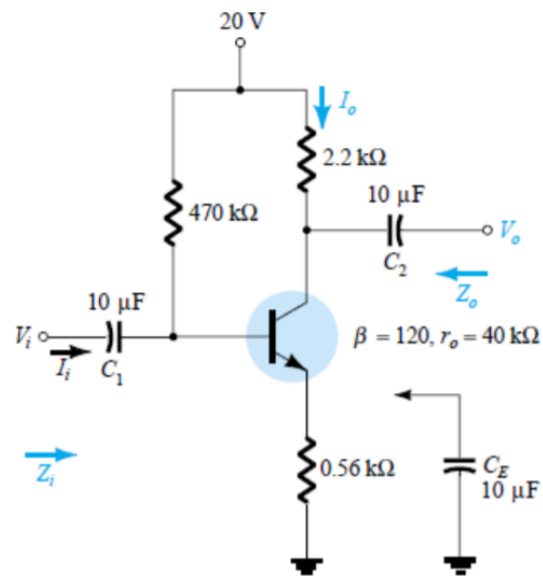


Figura 31 - Circuito proposto

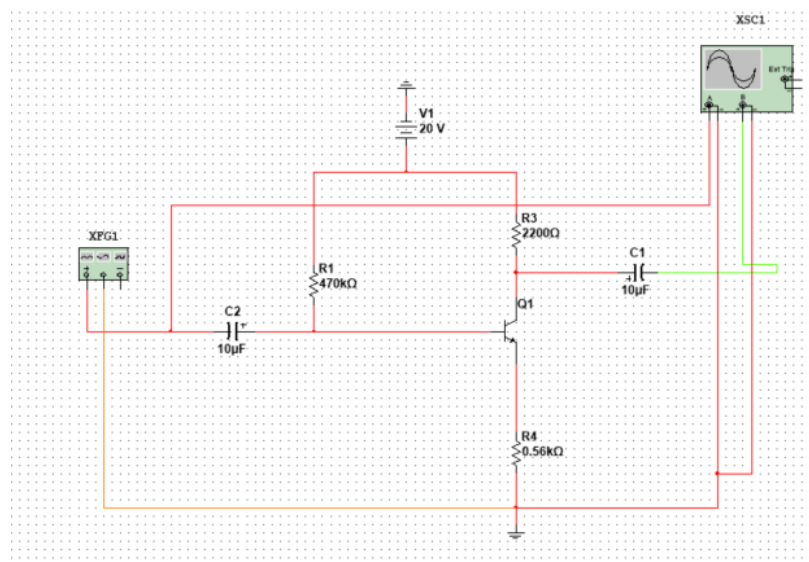


Figura 32 - Simulação

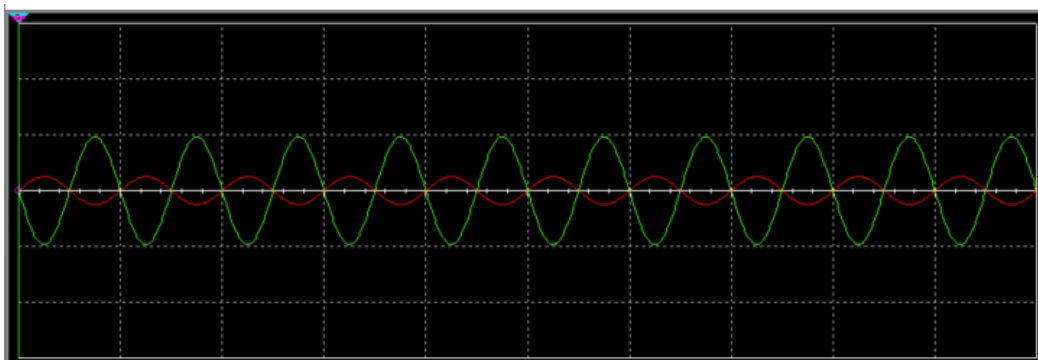


Figura 33 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{18,79mV}{-4,998mV} = -3.75$$

## ANÁLISE DC

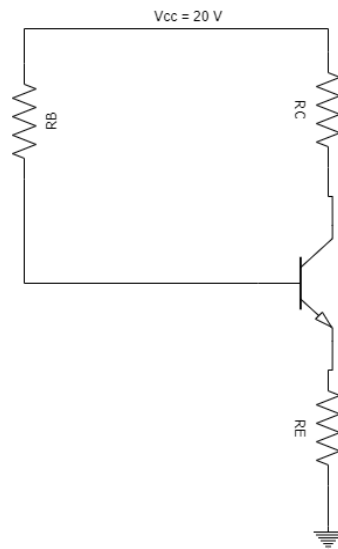


Figura 34 - Análise DC

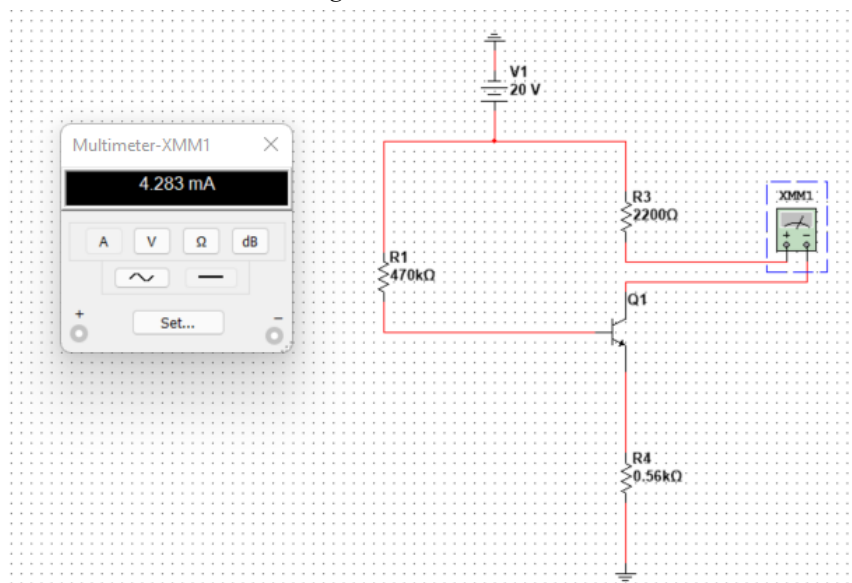


Figura 35 - Simulação DC e mensuração de IC

$$V_{cc} - I_B * R_B - V_{BE} - (\beta + 1) * I_B * R_E$$

$$I_B = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) * R_E} = \frac{20 - 0,7}{470k + (120 + 1) * 560} = 35,89 \mu A$$

$$I_E = (\beta + 1) * I_B = 121 * 35,89 \mu A = 4,34 mA$$

$$I_C \simeq I_E$$

$$V_B = V_{cc} - I_B * R_B = 20 - 35,89 \mu A * 470000 = 3,13 V$$

$$V_C = V_{cc} - I_C * R_C = 20 - 4,34 mA * 2200 = 10,452 V$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_C * (R_C + R_E) = 20 - 4,34 mA * (2200 + 560) = 8,02 V$$

Componente	Cálculo	Simulação
IB	35,9 $\mu A$	35,89 $\mu A$
IC	4,28 mA	4,34 mA
IE	4,29 mA	4,34 mA
VB	3,23 V	3,13 V
VC	10,58 V	10,452 V
VCE	8,16 V	8,02 V

## ANÁLISE AC

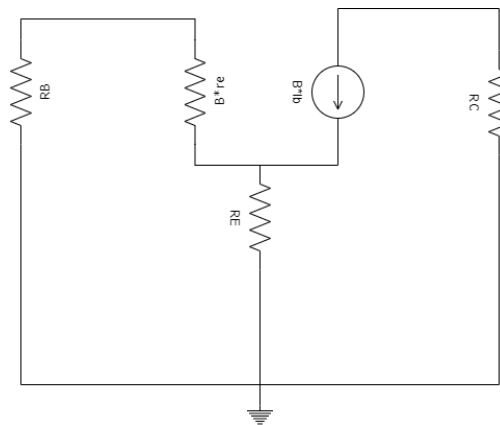


Figura 36 - Análise AC

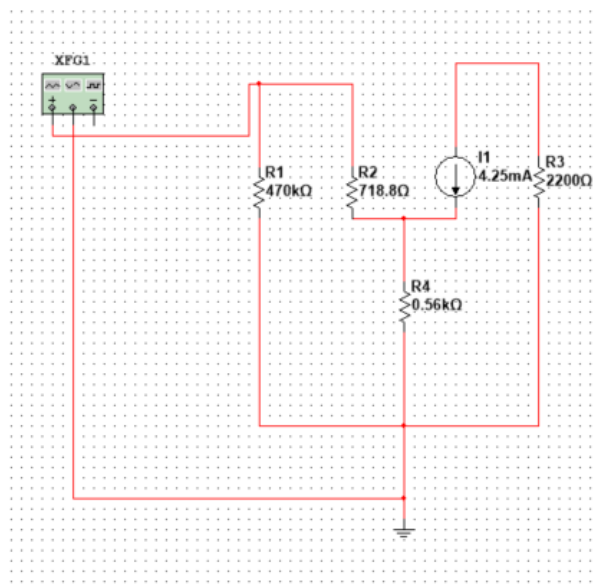


Figura 37 - Simulação AC

## ANÁLISE AC

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \beta r_e + (\beta + 1) * R_E$$

$$Z_b \simeq \beta(re + RE)$$

$$re = \frac{26mv}{IE} = \frac{26mv}{4,34mA} = 5,99\Omega$$

$$Z_i = RB // Z_b = 470000 // 120 * (5,99 + 560) = 470000 // 67918,80$$

$$Z_i = 59.343,22$$

$$Z_o = RC // r_o = 2200 // 40000 = 2,085k\Omega$$

$$Av = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta * RC}{Z_b} = \frac{-120 * 2200}{67918,8} = -3,89$$

$$I_1 = \alpha * IE = I_1 = 4,29mA * \left(\frac{\beta}{\beta+1}\right) = 4,25mA$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	59,34kΩ	59,77kΩ
Z0	2,085kΩ	3,3kΩ
Av	- 3,89	-3,75

### 3.2-3 - POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

Repita o exercício anterior – Acrescente o capacitor CE

Determine: a) IB, IC, IE, VB, VE, VC, VCE

b) Zi, Zo, AV

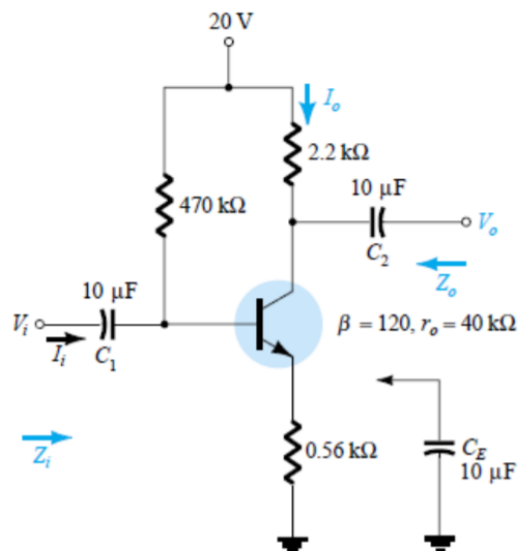


Figura 38 - Circuito proposto

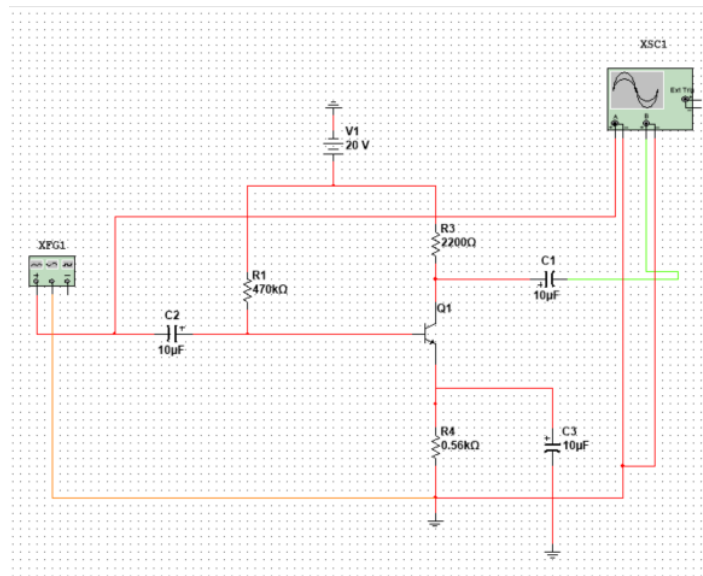


Figura 39 - Circuito simulado

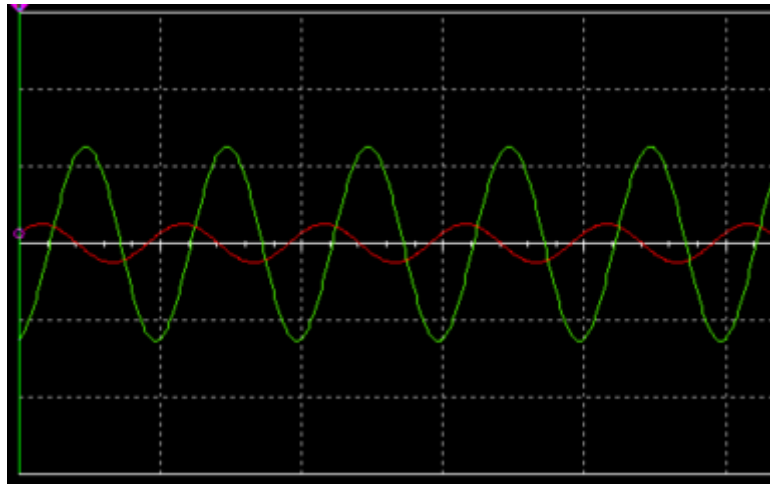


Figura 40 - Forma de onda

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{626,59mV}{-1,753mV} = -357,43$$

## ANÁLISE DC

A análise DC permanece inalterada para o circuito DC, uma vez que são retirados os capacitores para esta análise.

## ANÁLISE AC

Devido a ação do capacitor ao lado do resistor RE, o mesmo entra em curto e é retirado, sendo assim, a análise AC torna-se a mesma que em um circuito de emissor-comum.

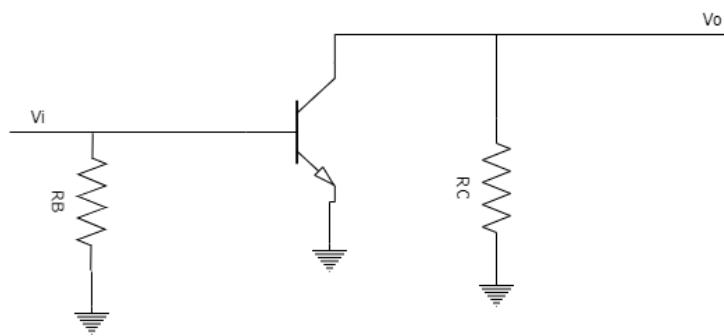


Figura 41 - Análise AC

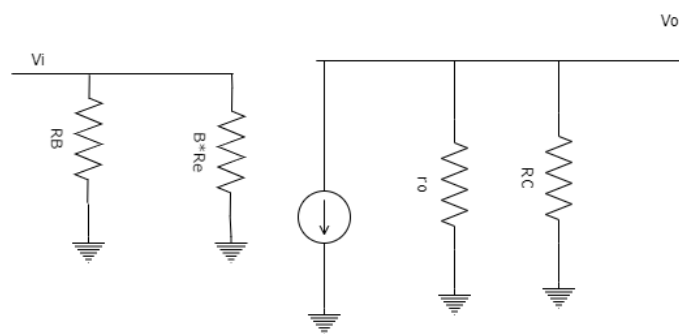


Figura 42 - Análise AC

$$Z_b = \frac{v_i}{i_b} = \beta r_e + (\beta + 1) * R_E$$

$$Z_b \simeq \beta(r_e)$$

$$r_e = \frac{26mv}{I_E} = \frac{26mv}{4,34mA} = 5,99\Omega$$

$$Z_i = R_B // Z_b = 470000 // 120 * (5,99) = 470000 // 718,80$$

$$Z_i = 717,7\Omega$$

$$Z_o = R_C = 2200\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-R_c}{r_e} = \frac{-2200}{5,99} = -372,8$$

Componente	Cálculo	Simulação
Zi	717,7kΩ	717,7kΩ
Z0	2,2kΩ	3,3kΩ
Av	- 372,8	-357,43



Dentre os resultados obtidos durante as simulações e cálculos realizados para a M3 de Eletrônica Básica, pode-se notar resultados satisfatórios, onde o valor calculado e o valor simulado tiveram pouca ou nenhuma diferença.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos por meio deste relatório através de cálculos e comparações com simulações foram positivos, foi possível visualizar valores muito próximos e entender um pouco mais do funcionamento dos circuitos quando chave e quando amplificadores. Foram revisados conceitos aprendidos durante a segunda média e inseridos novos, com novas equações e análises AC, onde a visão do circuito torna-se diferente e é preciso colocar seus capacitores em curto, obtendo-se assim valores de impedância e ganho de tensão (amplificação).

Durante toda a disciplina os conhecimentos foram consolidados a partir de experimentos simulados, práticos e cálculos, tornando assim a aprendizagem mais ampla.

## 5. REFERÊNCIAS

MULTISIM, Ni (org.). **¿Cómo Encontrar la Impedancia de un Circuito en Multisim?** 2014. Disponível em: <https://digital.ni.com/public.nsf/allkb/B9197FDAA8E120CD86257D9D008087E9>. Acesso em: 06 dez. 2021.

AMORIM, Prof. Henrique. **TBJ - Análise AC**. São Paulo: Unifesp - Ict, 2021.